

МЕТОДИКА ОЦЕНКИ СТРУКТУРНОЙ НАДЕЖНОСТИ В ЗАДАЧАХ ЭКСПЛУАТАЦИИ И УПРАВЛЕНИЯ РАЗВИТИЕМ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЕЙ

*Нелюбин И.С., Демин А.С., Бартоломей П.И., Котов О.М.
УрФУ, admin@daes.ustu.ru*

Проблема рационального использования энергоносителей в нынешней ситуации энергетического дефицита стала еще более актуальной не только для России, но и для всех развитых стран мира. Развитие конкурентных отношений в электроэнергетике и участвовавшие в мире крупные системные аварии повышают значимость фактора надежности для энергосистем и энергообъединений. Основные проблемы при обеспечении надежности электроснабжения возникают при появлении в энергосистеме дефицитных районов.

Для задач эффективного управления развитием и эксплуатацией электрических сетей все более востребованными становятся расчеты структурной и режимной надежности. Существующие методы анализа структурной надежности имеют недостатки, значительно снижающие эффективность их использования из-за допущения о неограниченной пропускной способности линии. В свою очередь, область применения моделей анализа режимной надежности сокращается в связи с большим временем расчетов электрических режимов из-за необходимости оценки режима сети на каждое отключение ее элемента.

В данном докладе описывается методика анализа структурной надежности электрических сетей, с одной стороны, использующая высокоэффективный алгоритм учета частичных отказов в сети [1, 2], и, с другой стороны, в ней устранена проблема большого времени расчета [3-5]. Данная методика включает в себя три этапа: 1) прямой ход (свертка схемы до несворачиваемого эквивалента); 2) расчет показателей надежности; 3) развертка схемы до первоначального состояния.

Первый раз оценка режима выполняется для исходной схемы электрической сети. Результаты этого расчета используются в процедуре свертки схемы. Последующие расчеты режима выполняются циклическим образом по минимальным сечениям полученного эквивалента сети. После нахождения минимального сечения производится расчет режима электрической сети и осуществляется контроль перетоков мощности или токов в элементах сечения. Контролируемый параметр может являться как током термической стойкости, так и любым другим режимным ограничением. В случае превышения потока по сечению рассчитывается годовой недоотпуск электроэнергии по каждому узлу, отделенному от источников данным сечением. Для этого превышение потока распределяется между нагрузочными узлами. Это распределение можно выполнять разными способами, например, пропорционально мощности узла, либо с учетом категории надежности потребителей. Полученная величина ограничения мощности накапливается в рассматриваемом узле с весовым коэффициентом, равным вероятности работоспособного состояния данного сечения. Далее, для выбранного минимального сечения выполняется цикл по отключению входящих в него элементов. На каждом цикле производится расчет потокораспре-

деления. По результатам этого расчета контролируется превышение потока по неотключенным элементам сечения и его распределение по нагрузочным узлам. Если в одной из линий сечения обнаруживается превышение потока, то для всех узлов, отделенных данным сечением, к ранее сохраненной величине ожидаемого недоотпуска электроэнергии добавляется идентифицированная величина ограничения нагрузки с учетом вероятности состояния отказа отключенного элемента сечения. После перебора всех сочетаний отключений элементов в данном сечении выполняется аналогичная обработка следующего сечения.

В общем случае ожидаемый недоотпуск электроэнергии узла находится в соответствии со следующим выражением:

$$W_i = \Delta S_c \cdot q_c \cdot k_i ,$$

где ΔS – превышение перетока по сечению, либо по элементам сечения; q_i – вероятность события, приводящего к превышению перетока; $k_i = S_i / S_\Sigma$ – доля узла i в распределении недоотпущенной энергии; S_Σ – суммарная мощность нагрузки; S_i – мощность узла i .

Поскольку при обработке несворачиваемого эквивалента требуется произвести многократный расчет режима, необходимо использовать метод, позволяющий получить решение за минимально возможное время. Традиционные методы решения систем линейных уравнений (СЛУ) требуют большого количества машинного времени. На кафедре «Автоматизированные электрические системы» УрФУ был разработан алгоритм экспресс-оценки потокораспределения при коммутациях в электрической сети [3, 4], основанный на методе Вудбери и учитывающий разреженность матрицы проводимостей. Задачей настоящего исследования явилась адаптация ускоренных методов расчета режима в задаче оценки структурной надежности ЭЭС.

Для пояснения сути предложенного алгоритма рассмотрим вещественную систему линейных уравнений, соответствующую модели постоянного тока. Расчет режима производится через разложение матрицы проводимостей Y на треугольные сомножители L и M :

$$L^0 M^0 U^0 = I^0 ,$$

где I^0 – вектор узловых токов исходного режима; U^0 – вектор напряжений базового режима, L и M , соответственно, нижняя и верхняя треугольные матрицы. Основное время при решении СЛУ уходит на формирование этих матриц. Предложенный алгоритм не требует нахождения матриц L и M после каждой коммутации в электрической сети, а использует матрицы, полученные при расчете исходного режима.

Возможность повторного использования треугольных матриц L и M обусловлена тем фактом, что при коммутации одного из элементов сети в исходной матрице Y изменяются лишь два ненулевых столбца и две строки. За счет этого расчет электрического режима сети после коммутации сводится к решению системы, состоящей всего из двух уравнений, что приводит к значительному снижению объема вычислений и, как следствие, сокращению требуемого машинного времени. В таблице в графе «относительная эффективность» показано во сколько раз происходит сокращение объема вычислений в зависимости от

размерности задачи (количества узлов в сети). Здесь объем вычислений выражен через эквивалентное число арифметических сложений [6]. Полученные данные учитывают слабую заполненность матрицы проводимостей, что приближено к реальной электротехнической задаче.

| Количество узлов, n | 10 | 100 | 500 | 1000 |
|--|-----------------|------------------|---------------------|-----------------------|
| Объем вычислений методом Гаусса | $84 \cdot 10^3$ | $35 \cdot 10^8$ | $105 \cdot 10^{11}$ | $35 \cdot 10^{14}$ |
| Объем вычислений методом экспресс-оценки потокораспределения | $57 \cdot 10^3$ | $1,5 \cdot 10^8$ | $0,7 \cdot 10^{11}$ | $0,015 \cdot 10^{14}$ |
| Относительная эффективность | 1,46 | 23 | 150 | 233 |

Выполненный анализ позволяет сделать вывод, что предложенная методика оценки структурной надежности электрической сети является высокоэффективным инструментом в задаче управления развитием и эксплуатацией электрических сетей для выявления энергоэффективных мероприятий.

Библиографический список

1. Арзамасцев Д.А., Обоскалов В.П. Расчет показателей структурной надежности энергосистем: Учебное пособие. Свердловск: УПИ им. С.М. Кирова, 1986. 80 с.
2. Демин А.С., Котов О.М., Анализ структурной надежности электрической сети с учетом оценки потокораспределения // Электроэнергетика глазами молодежи: науч. труды междунар. науч. техн. конф.: сборник статей. В 3 т. Самара: СамГТУ, 2011.
3. Алгоритм и программа оперативной оценки возможности отключения элементов основных сетей и межсистемных связей / И.Л. Кирпикова, А.И. Кулешов, А.В. Липес, В.Г. Неуймин // Советчики диспетчера по оперативной коррекции режимов работы ЭЭС. Иркутск: АН СССР, СЭИ, 1984.
4. Аюев Б.И., Бартоломей П.И. Расчеты установившихся режимов в задачах оперативного и автоматического управления ЭЭС: Учебное пособие. Екатеринбург: УГТУ, 1999. 33 с.
5. Бартоломей П.И., Демин А.С., Котов О.М., Нелюбин И.С. Экспресс-расчёты установившихся режимов электрической системы для оценки структурной надежности // Управление, информация и оптимизация в электро-энергетических системах: Сборник докладов Междунар. молодежн. науч.-техн. конф.. Новосибирск: НГТУ, 2011.
6. Воеводин В.В. Численные методы алгебры. Теория и алгоритмы. М., 1996. 248 с.

МОДЕЛИРОВАНИЕ РАБОТЫ ЭВОЛЬВЕТНЫХ ФОРСУНОК СКРУББЕРА В ПРОГРАММНОМ КОМПЛЕКСЕ ANSYS

Николенко А.Н., Горбунов В.А.

Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина

E-mail: tevp@tvp.ispu.ru

Скруббер является уникальным нестандартным оборудованием, предназначенным для очистки колошниковога газа, опасного для жизни человека. Вместе с тем он является энергоемким оборудованием, требующим значительных затрат воды и энергии. При проведении физического эксперимента по исследованию скруббера возникают трудности, так как